International Science Journal of Engineering & Agriculture
2022; 1(3): 152-160
https://isg-journal.com/international-science-journal-of-engineering-agriculture/
doi: 10.46299/j.isjea.20220103.13
ISSN: 2720-6319

ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ МІСЬКОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Грищенко Роман[1]
[1]Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID 0000-0002-1199-5467
Електронна адреса: gryshenko.roman@gmail.com

Для цитування цієї статті:
Грищенко Роман. Прогнозування споживання електричної енергії електротехнічних комплексів міської електричної мережі. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 1, No. 3, 2022, pp. 152-160. doi:10.46299/j.isjea.20220103.13.
Надійшла до редакції: 21 липня 2022 р.; **Схвалено:** 28 липня 2022 р.;
Опубліковано: 01 серпня 2022 р.

Анотація: Завдання планування та прогнозування енергоспоживання є досить значущою в електроенергетиці. Підвищення точності прогнозування обсягів споживання електроенергії обумовлюється переходом до ринкових відносин між суб'єктами оптового ринку, а також відповідальністю за результати дій, заснованих на прогнозі. Прогнозування електричних навантажень є важливим аспектом у економічних та технічних питаннях. Своєчасне отримання інформації про майбутнє навантаження дозволяє вибрати оптимальний режим роботи системи. Правильність результатів прогнозування навантаження значно впливає на показники електротехнічного комплексу за умов роботи над ринком електроенергії. Прогнозування є важливим фактором при складанні балансу електроенергії в енергосистемі, впливаючи на вибір режимних параметрів та розрахункових електричних навантажень. Баланс електроенергії необхідний забезпечення сталої роботи енергосистеми. У разі недотримання балансу страждає якість електроенергії (відбувається відхилення частоти та напруги від необхідних значень). Це відбивається на роботі інших елементи електротехнічного комплексу – споживачів. Точність прогнозування дає можливість оптимізувати роботу всього електротехнічного комплексу. Нова головна вимога до методик прогнозування в електроенергетиці полягає у розрахунках обсягів споживання електроенергії у різні інтервали часу. І якщо досі можна було обійтися простим методом лінійної регресії чи методом щоденного зіставлення показників, то тепер виникла потреба враховувати нелінійні впливи зовнішніх факторів, що обурюють. У зв'язку з цією оцінкою

параметрів залежності енергоспоживання від вищезазначених факторів надається велике значення, проте очевидно, що надійний прогноз навантаження неможливий без якісного метеорологічного експертизи.

Ключові слова: енергоспоживання, електроенергія, прогнозування, метод, споживання.

1. Вступ

1.1.Проблеми прогнозування обсягів споживання електроенергії

В даний час умови ринку електроенергії пред'являють все більш жорсткі вимоги до обсягів закупівлі та електроенергії, що продається, у відповідність з цим питання прогнозування є фундаментальним для фінансового планування суб'єктів.

Проблема прогнозування електроспоживання у тому, що необхідно врахувати величезну кількість факторів, що має вплив на зміну енергоспоживання. На сьогоднішній день проведено багато досліджень на цю тему та створено велику кількість моделей прогнозування часових рядів. Продовжуються розробки для зниження похибок моделей прогнозування часових рядів.

У зв'язку з посиленням вимог до прогнозування це завдання як удосконалюється, так й ускладнюється. Враховується все більше факторів, використовуються нові методи, що ускладнюються алгоритми розрахунків.

Сьогодні актуальним є питання створення моделі прогнозування обсягів електроспоживання для постачальників електроенергії з метою збільшення прибутку та ефективного розподілу електроенергії.

У зв'язку з необхідністю створення запасу потужності, транспортування електроенергії та її перерозподілу важливим питанням є прогнозування обсягів електроенергії необхідних кінцевому споживачеві.

Перед мережевою організацією також як і перед генеруючою організацією ставиться завдання розрахувати необхідне навантаження мереж та енергоблоків, на яку впливають різні обурюючи фактори: погода, клімат, географічне розташування, місяць року, час доби та економічні чинники.

1.2 Огляд відомих методів прогнозування обсягів споживання електричної енергії

Термін «метод прогнозування» використовується дуже широко найпростіших розрахунків до процедур багатокрокових експертних опитувань, а також як спосіб теоретичної та практичної дії .

Достовірність прогнозу безпосередньо залежить від використання методик та моделей розрахунків. В даний час існує значна кількість різних методів та моделей складання прогнозу споживання електроенергії. Але практичне

застосування як основні методи прогнозування знаходять 15-20 методів Для короткострокових та довгострокових прогнозів використовуються різні методи прогнозування, які орієнтовані різні завдання і використовують спеціалізовані бази даних.

При складанні класифікації методів прогнозування необхідно враховувати, що систематизація має визначатися сутністю об'єкта прогнозування, тенденціями його розвитку та їх закономірностями.

Як дослідницький захід завданням прогнозування є визначення можливого майбутнього розвитку та вибір найбільш оптимального варіанта. Мета цього етапу – виявлення широкого спектра можливих варіантів, що становлять одну чи кілька науково-технічних проблем, необхідні вирішити за прогнозований період.

Програмна сторона питання прогнозування полягає в знаходження різних шляхів отримання необхідних результатів; встановлення часу реалізації кожного з варіантів та ступеня їх достовірності.

Дана сторона питання визначається наявністю фінансових ресурсів та наявного наукового потенціалу. На цьому етапі обґрунтовується необхідність витрат економічних ресурсів на проведення робіт з прогнозування, формулюється гіпотеза, дається імовірнісна оцінка розподілу можливостей та перспектив розвитку наукового потенціалу.

Загальні методи прогнозування можна розділити на чотири великі групи:

- методи експертних оцінок;
- методи екстраполяції;
- методи регресійного аналізу;
- методи нейронних мереж.

В таблиці 1 приведені загальні характеристики методів прогнозування

Таблиця 1.

Загальні параметри методів прогнозування

Методи	Характеристики	Різновиди
Експертна оцінка	Прогноз проводиться на основі суб'єктивних знань експерта та його інтуїція. Застосовується для короткострокового, середньострокового та довгострокового прогнозування.	Індивідуальні та колективні експертні оцінки.
Екстраполяція	Ґрунтується на статистичних даних певного параметра, тенденції його зміни. Застосовується при мінімальному кількості змін. Для кожного об'єкта створюється окремий прогноз.	Метод ковзного середнього. Метод експоненційного згладжування.
Регресивний аналіз	Досліджує кореляційну залежність властивостей. Переважно використовується в середньостроковий прогноз.	
Нейронні мережі	Метод заснований на сукупності нейронів та їх зв'язків. Мають можливість навчання на основі інформації про навколишню середовище. Переважно використовується в короткостроковому прогнозі.	

Метод експоненційного згладжування може бути використаний як згладжування рівнів часового ряду, так прогнозування.

Цей метод відрізняється тим, що в процесі математичних обчислень перебуває усереднене значення кожного спостереження. Таким чином у процесі перетворень відбувається згладжування випадкових викидів. У цій процедурі використовуються значення з певним вагою. Вага кожного значення зменшується в міру його віддалення від розглянутого моменту.

Згладжене значення спостереження ряду S_t на час t визначається за формулою:

$$S_t = ay_t + (1-\alpha)S_{t-1}, \qquad (1.1)$$

де $\alpha-$ параметр, що згладжує, що характеризує вагу вирівнюваного спостереження , причому 0< α<1.

Позначаємо $\beta = 1-\alpha$, тоді формула (1.1) можна записати у вигляді

$$S_t = ay_t + \beta S_{t-1}, \qquad (1.2)$$

Величину S_{t-1} в формулі (1.2) записуємо у вигляді суми фактичного значення рівня y_{t-1} та згладженого значення попереднього йому спостереження S_{t-2}, взятого з відповідними вагами.

Процес такого розкладання можна продовжити для членів S_{t-2}, S_{t-3} та ін.

$$S_t = ay_t + \beta S_{t-1} = ay_t + \beta(ay_{t-1} + \beta S_{t-2}) \qquad (1.3)$$

Робимо висновок, що згладжене значення – це виважена сума всіх попередніх рівнів низки.

Практичне застосування методу експоненційного згладжування обумовлюється деякими проблемами: визначення згладжуючого параметра та знаходження початкової умови y_0.

Чисельний параметр α визначає швидкість зменшення ваги попереднього спостереження, а також їх вплив на рівень, що згладжується.

За наявності даних про зміну процесу параметр y_0 визначається як їхнє середнє значення, за відсутності даних, то в якості y_0 застосовують вихідне значення часового ряду y_1.

Різні математики представляли збіг математичного очікування та експоненційної середньої часового ряду, при цьому дисперсія експоненційної середньої $D[S_t]$ менше дисперсії тимчасового ряду (σ_0^2):

$$D[S_t] = \frac{\alpha}{2-\alpha} * \sigma_0^2 \qquad (1.4)$$

З (1.4) бачимо, що зі зменшенням значення α дисперсія експоненційної середньої зменшується. Таким чином, експоненційна середня виконує функцію «фільтра», що поглинає коливання тимчасового ряду.

Можна зробити висновок, що необхідно збільшувати вагу останніх спостережень підвищенням параметра α , згідно (1.2), при цьому згладжування випадкових "викидів" величину α потрібно знижувати.

Ці вимоги суперечать одна одній. Пошук значення параметр згладжування α часом здійснюється шляхом перебору. На цьому етапі застосовуються те значення α, в результаті якого виходить мінімальна дисперсія помилки.

Модель експоненційного згладжування має вигляд:

$$\widehat{y_t}(t) = \widehat{a_{1,t}} \quad (1.5)$$

Обчислена величина параметра $\widehat{a_{1,t}}$ є оцінкою існуючої, але невідомої величини $\widehat{a_{1,t}}$.

Параметр моделі $\widehat{a_{1,t}}$ визначається експоненційної середньої

$$\widehat{a_{1,t}} = S_t \quad (1.6)$$

$$S_0 = \widehat{a_{1,t}} \quad (1.7)$$

Співвідношення (1.1) після елементарного перетворення може бути записано у вигляді:

$$S_t = S_{t-1} + \alpha(y_t - S_{t-1}) \quad (1.8)$$

Вважаючи, що величина $(y_t - S_{t-1})$ є похибкою прогнозу зробленого в момент часу t-1, на момент часу t отримуємо величину нового прогнозу (на момент часу t+1), як результат коригування попереднього прогнозу з урахуванням його помилки. У цьому полягає адаптація моделі.

Як помилку моделі використовуватимемо суму квадратів помилок SSE

$$SSE = \sum_{t=1}^{n} \varepsilon_t^2 \quad (1.9)$$

Якість моделі визначається величиною помилки SSE залежить від величини коефіцієнта адаптації α, тому існує можливість підбору α таким чином, щоб помилка була мінімальною.

Після того, як були обчислені експоненційні середні S_t по формулі (1.1), вони самі утворюють тимчасовий ряд. Позначимо його члени через $S_t^{(1)}$. Верхній індекс показує, що це результат першого згладжування. Цей ряд можна згладити ще раз, скориставшись формулою, аналогічною формулою (1.1):

$$S_t^{(1)} = \alpha S_t^{(1)} + \beta S_{t-1}^{(2)} \quad (1.10)$$

Отриманий згладжений ряд $S_t^{(2)}$ по відношенню до вихідного є двічі згладженим вихідним, тому його називають експоненціальною середнього другого порядку.

Обчислення за цими моделями можна покращити за рахунок вибору параметра згладжування α. Цей вибір можна зробити або методом суцільного перебору або шляхом вирішення відповідної оптимізаційної завдання, метою якої є зменшення помилки моделі.

Існує також модель Хольта, за якою прогноз на τ кроки вперед визначається виразом:

$$\widehat{y_\tau} = (t) = (\widehat{\alpha_{1,\tau}} + \tau\widehat{\alpha_{2,\tau}}) \quad (1.11)$$

У цій моделі прогнозні оцінки залежать від минулих та поточних рівнів часового ряду, початкових значень коефіцієнтів $\widehat{\alpha_{1,0}}$ та $\widehat{\alpha_{2,0}}$, та параметрів адаптації,α_1, α_2 .

Однією з модифікацій методу експоненційного згладжування для сезонних рядів є метод Хольта-Уінтерса. Як модель ряду використовується його подання у вигляді комбінації лінійного тренду з сезонної складової, накладеної мультиплікативно.

Прогноз за моделлю Хольта-Уінтерса на кроків уперед визначається виразом:

$$\widehat{y_\tau}(t) = \left(\widehat{\alpha_{1,\tau}} + \widehat{\alpha_{2,\tau}}\right) f_{t-1+\tau} \quad (1.12)$$

У цій моделі прогнозні оцінки залежать від минулих та поточних рівнів часового ряду, початкових значень коефіцієнтів $\widehat{\alpha_{1,0}}$ і $\widehat{\alpha_{2,0}}$, значення сезонного фактора ($\widehat{f_{t-1+\tau}}$) для кожної фази циклу та параметра адаптації α_1, α_2.

При прогнозуванні, в тому числі споживання електроенергії, використовують також регресійний аналіз.

Завдання прогнозування передбачає використання рівнянь регресії для оцінки значень прогнозованого показника поза діапазоном фактичних спостережень, на основі якого отримано рівняння регресії.

Регресія - зміна функції залежно від інших змін аргументів. Метою регресійного аналізу є передбачення щодо значенням одного параметра відповідне значення іншого.При певній кількості пар значень змінних можливо встановити ступінь та характер регресії.

Регресійний аналіз застосовується щодо:

1. Форми залежностей між змінними.
2. Функції регресії (який вплив на залежну змінну основних факторів за інших рівних умов).
3. Прогностичної оцінки невідомих значень залежної змінної. Можливе визначення значень залежної змінної всередині діапазону заданих значень незалежних змінних (інтерполяція) або поза заданим інтервалом (екстраполяція).

Проста лінійна регресія – це залежність ознаки від однієї незалежної змінної.

Рівняння регресії у загальному вигляді виглядає так:

$$y_i - \bar{y} = b(x_i - \bar{x})\varepsilon_i$$

де y_i- значення і-го спостереження залежною змінною (i=l,…,n) x_i - призначення відповідної незалежної змінної; $\bar{x}$ та $\bar{y}$ - середні по n спостереженням; b – коефіцієнт пропорційності; ε_i- помилка.

При визначенні впливу, що надає однією змінною на іншу необхідно розрахувати коефіцієнт регресії. Коефіцієнт регресії – це ставлення коваріанси незалежної та залежної змінними до коваріансу незалежної змінної. Даний коефіцієнт відображає середнє значення зміни залежної змінної при зміні незалежної однією одиницю. Позитивне значення коефіцієнта регресії визначає послідовну зміну залежної змінної зі збільшенням аргументу. Негативний коефіцієнт з'являється, коли залежна змінна зменшується зі збільшенням незалежною.

Так як на будь-який параметр можуть впливати одночасно кілька чинників. У зв'язку з цим завдання регресії визначення залежності однієї змінної від кількох інших змінних умовах певного місця та періоду.

За фактом існування лінійних взаємозв'язків між змінними, загальне рівняння множинної регресії виглядає так:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots + b_mx_m + \varepsilon$$

де $b_1, b_2, \ldots, b_m -$ коефіцієнт регресії

Алгоритм регресійного аналізу складається з кількох етапів:

1. Постановка проблеми. Визначення явищ та процесів, серед яких необхідно знайти залежність.
2. Визначення змінних, їхня класифікація.
3. Визначення принципу збору даних та обсяг вибірки.
4. Визначення гіпотези щодо зв'язку параметрів, перевірки передумов.
5. Визначення чисельних величин параметрів рівняння регресії.
6. Визначення точності регресійного аналізу. Розрахунок помилок прогнозування.
7. Оцінка результатів розрахунків.

Регресійний аналіз дає більш широку оцінку впливу змінних один на одного, а також дозволяє брати до уваги природу досліджуваного процесу. У зв'язку з цим регресійний аналіз знаходить широке застосування при прогнозуванні та плануванні.

Відмінна риса методів регресійного аналізу від методів екстраполяції полягає у створенні прогностичної моделі, описує залежність досліджуваного параметра від тих, що обурюють факторів, тим часом екстраполяційні методи ґрунтуються лише на попередній досвід, який проектується на майбутнє.

Основою цих методів є поняття кореляційного зв'язку.

При прогнозуванні деяких показників слід враховувати наявність сталого зв'язку досліджуваного ознаки з його значеннями минулому та майбутньому.

Взаємозв'язок між послідовними елементами динамічного ряду представляє окремий випадок кореляційної залежності і носить назва автокореляції.

2. Порівняльний аналіз методів прогнозування

Відома велика кількість методів прогнозування. Для вибору оптимального методу для побудови прогнозної моделі електроспоживання необхідно знати мету прогнозу, інтервал та точність прогнозування, адаптивність моделі та її швидкодія.

Кожен метод має свої переваги та недоліки, представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Аналіз методів прогнозування

Метод прогнозування	Переваги	Недоліки
1	2	3
Адаптивний метод	1.Можливість обліку поточних змін характеристик, вивчених тимчасових процесів. 2. Здатність відображення нової інформації у прогнозах з невеликим відставанням. 3. Враховує знову що надійшла інформацію, дозволяє оновлювати прогнози з мінімальною затримкою	1.Збільшення числа параметрів придає системі зайву чутливість, що призводить до погіршення отримуваних прогнозів. 2. Умовний поділ моделей прогнозування на адаптивні та не адаптивні.

Продовження Таблиці 2.

1	2	3
Регресивна модель	1.Простота обчислювальних алгоритмів. 2.Наочність та інтерпретованість результатів	1. Невисока точність прогнозу. 2. Суб'єктивний характер вибору виду конкретної залежності. 3.Відсутність пояснювальної функції
Експериментальні методи	1.Можливість отримання нової інформації на основі інтуїтивних рішень та рівня кваліфікації експерта. 2. Здатність знаходження конкретних значень процесу щодо якісним показникам за відсутності бази даних. 3.Швидкість отримання результатів.	1.Точність та достовірність отриманих результатів залежить від Підготовленості експерта. 2. Необхідність у професійно підготовлених фахівцях. 3. Трудомісткість збору даних. 4.Суб'єктивність методу.

Практика показує, що немає досконалого методу, який зміг би врахувати всі особливості прогнозування та фактори, що надають істотний вплив зміну обсягів електроспоживання.

Список літератури:

1) Аполонский О.Ю. Сравнительный анализ долгосрочных прогнозов развития мировой энергетики. Часть III/ О.Ю.Аполонский, Ю.Н.Орлов// Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. - 2013.
2) Арзамасцев Д.А. Модели оптимизации и развития энергосистем/ Д.А.Арзамасцев, А.В.Липес. – М.: Высшая школа, 1987.
3) Бокс Д. Анализ временных рядов: прогноз и управление: пер. с англ./ Д.Бокс, г.Дженкинс. –М.: Мир, 1974.
4) Головкин П.И. Режимы электроснабжения потребителей / П.И. Головкин.- М.: Энергия, 1971.
5) Гордєєв В.І. Регулювання максимуму навантаження промислових електричних мереж / В.І. Гордєєв. М .: Вища школа, 1986.
6) Грабовецкий Б.Є. Основи економічного прогнозування: Навч. посіб. / Б.Є. Грабовецкий. -Вінниця: ВФ ТАНГ, 2000.
7) Гуртовцев А.Л. Комплексная автоматизация энергоучета на промышленных предприятиях и хозяйственных объектах / А.Л. Гуртовцев // СТА. – 1999.
8) Дикмаров С.В. Регулювання потужності при виробництві та споживанні електроенергії / С.В. Дікмаров, Г.Г.Садовскій. - М.: Техніка, 1981.
9) Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю.С. Железко. – М.: НЦ ЭНАС. – 2002.

10) Петрова К.Г. Комплексне регулювання режиму електронавантаження промислових спожівачів / К.Г. Петрова, Б.С. Серебренніков // Промелектро. - 2014.
11) Праховник А.В. Автоматизация управления электропотреблением / А.В. Праховник – К.: Вища школа, 1986.
12) Федоров А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий : Учеб. для вузов / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – Москва : Энергия, 1979.
13) Червоненкис Я.М. Об оптимальной системе напряжений для городских и сельских электросетей / Я.М. Червоненкис, Л.М. Фингер // Электричество. – 1965.
14) Черемісін М. М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням : посібник для вищих навчальних закладів / М. М. Черемісін, В. М. Зубко. – Харків: Факт, 2005.
15) Довідник з електропостачання та електрообладнання / Под ред. А.А. Федорова. Т. 2.-М .: Вища школа, 1987.